



TITLE:

<大学の研究・動向> 地球大気環境 を探索レーダーリモートセンシン グ

AUTHOR(S):

深尾, 昌一郎; 山本, 衛; 橋口, 浩之

CITATION:

深尾, 昌一郎 ...[et al]. <大学の研究・動向> 地球大気環境を探索レー
ダーリモートセンシング. Cue 2001, 7: 7-11

ISSUE DATE:

2001-06

URL:

<https://doi.org/10.14989/57823>

RIGHT:

地球大気環境を探るレーダーリモートセンシング

電波応用工学研究部門レーダーリモートセンシング工学分野

教授 深 尾 昌一郎

fukao@kurasc.kyoto-u.ac.jp

助教授 山 本 衛*

yamamoto@kurasc.kyoto-u.ac.jp

助手 橋 口 浩 之

hashiguti@kurasc.kyoto-u.ac.jp

* 地球電波科学研究部門グローバル大気情報解析分野

1. はじめに

気象庁は、平成13年4月より『ウインドプロファイラ』による新しい高層風観測網の運用を開始した。ウインドプロファイラは風を測る機能に特化した小型の大気レーダーである。同庁は全国18地点において従来から気球（レーウィンゾンデ）を用いた高層気象観測を実施している。ウインドプロファイラはこれを補完するように全国25ヶ所に配置され、遠隔制御によって自動観測を行う。観測データは1時間毎に気象庁本庁に送られ、現業の気象予報モデルの初期値として利用されることになっている。同庁はこれにより予報の難しい局地的な豪雨や豪雪の予報精度の向上を図るとしている。実はこの観測網に採用された25台のウインドプロファイラは我々が三菱電機株式会社とほぼ10年の歳月をかけて開発した小型大気レーダー（図1）である。後述のMUレーダーで培った技術で開発されたもので、高度5 kmまでの下部対流圏の風を高精度・高分解能で測定できる。大学の研究室で生まれた技術が発展して天気予報という身近な用途に用いられることになったわけである。以下では大気レーダーを中心に地球大気環境のレーダーリモートセンシングの現状と今後予想される展開について述べよう。

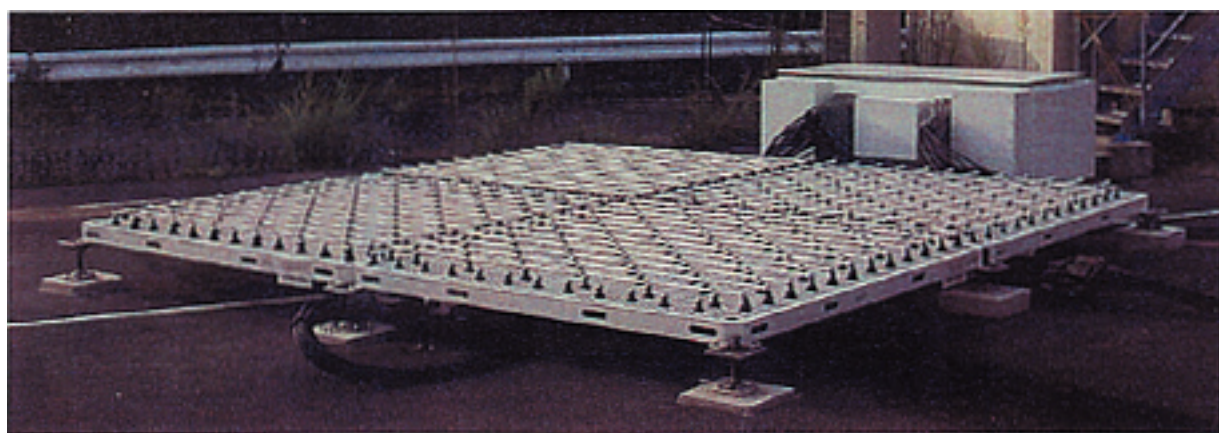


図1：京都大学で開発された小型大気レーダー。平成13年4月気象庁ウインドプロファイラ観測網に採用され全国展開された。

2. 大気を測るレーダー

大気レーダーは大気の小な乱れ（乱流）が生じさせる大気電波屈折率変動による散乱を捉えるものである。夜空で星がまたたくのも同じ理由である。標的はレーダーの電波が通過する大気そのものであるから、当然その散乱強度は極めて微弱である。このため例えば高度100kmまで測定しようとする、大略、周波数50MHz、アンテナの大きさ直径100m、放射電力数100kW以上という大規模な設備が必要となる。

乱流の渦は背景の大気の流れ（つまり風）に乗って移動するので、これを目印と考えてエコーのドップラーシフトから風速の視線方向成分を推定する。鉛直流を含む風速の3成分は、天頂付近の異なった3方向にアンテナを向けてそれぞれの視線方向速度成分から計算により求める。一方、エコーのスペクトルには様々な大気の情報が含まれる。これを上手く取り出す手法の開発もレーダーリモートセンシングの重要な課題である。

地上に居ながらにして高層の風速が測定できる技術は、1970年代初頭、一部研究者が着目するところとなった。当時適当な観測手段が無かったためまだ十分に理解されていなかった中層大気（Middle atmosphere：高度10～100kmの領域）の解明を目指していた研究者達である。このための専用の大型レーダーの建設が米国、西独（当時）はじめ各国で始まった。我が国でも1984年11月、加藤進名誉教授を中心とする本センターのグループが同種大気レーダーを滋賀県信楽町の国有林内に完成させた。『MUレーダー』（図2）である。今日では各国の大気レーダーの活躍はめざましく、既に地球大気環境リモートセンシングの強力なツールとして定着している、といってよい。

MUレーダーは中層大気その他、超高層大気（Upper atmosphere：高度100km以上の領域）の一部も観測できるので両者の頭文字から『MU（Middle and Upper atmosphere）レーダー』と名付けられた。今日では内外の研究者から「ミュー」と親しみを込めて呼ばれている。

MUレーダーには他の大気レーダーにない特徴がいくつもある。なかでも特筆すべきは一般のレーダーに見られる巨大な送信機がないことである。そのかわり475基の各八木アンテナにそれぞれ小さな半導体送受信機が取り付けられている。一個の小型送受信機の発射電力は2.4kWにすぎないが475基の小型送受信機を同時に働かせることにより1MWという大きな発射電力を得る仕組みになっている。しかし何分これだけ多数の送受信機の位相を揃えて作動させる必要が有ることから、建設前には電子工学の専門家の中にその困難さを「幼稚園児に整列を強いるようなもの」と喩えて酷評するひと

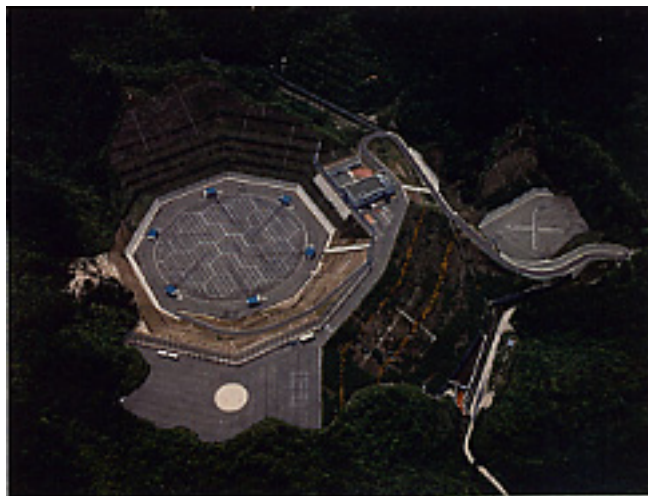


図2：MUレーダーの全景。中央の直径100メートルの円形内が八木アンテナアレイ。その周辺の6棟の建屋に475台の小型送受信機が収納されている。

もいた。しかし日本の電子技術レベルが急速に向上した時期であったことが我々に幸いした。完成したMUレーダーは設計仕様通りの性能を発揮、我々の期待に見事に応えるものとなった。

本方式を採用したことにより各八木アンテナからの発射電波の位相を小型送受信機のところで容易に変えることができる。この位相変化をコンピュータ制御により系統的に行うことでアンテナビーム方向を高速に変えることができる。ビームの方向変化はパルスを発射する毎に、つまり最高2,500分の1秒毎に可能であるのでほぼ瞬時にアンテナビームを望む方向に向けることができる。また、レーダーアンテナを分割して複数のチャンネルで同時受信する機能もある。現在に至るまでMUレーダーは時間的変動の激しい高層大気を詳細に観測できる世界で唯一のレーダーであり、大気レーダーとして世界最高性能を誇示しているのである。

3. 大気レーダーが捉える高層の姿

MUレーダーでは現在、高度数百kmまでの大気が観測されている。高度10kmを越える高層では最早前線が通過したり雨が降ったりすることはない。そのため以前はそこは何も起こらない静寂の世界と考えられていた。しかしMUレーダーを始めとする大気レーダーの観測によって大気の波が激しく荒れ狂っている世界であることが明らかになりつつある。そうした波のひとつを紹介しよう。

水面にきらめくさざ波、海のうねりは盛り上がった水面が重力によって下に引き降ろされ、その反作用で隣の水面が持ち上げられることにより水面の高低が波の形で次々前方へ伝わって行くものである。この種の波は地球の重力により作られる波であることから、重力波と呼ばれている。目には見えないが実は大気中にも水の場合と同様の重力波が存在する。例えば山並に平行してきれいな雲の列が生じているのを見ることがある。これは山越え気流が山脈を通り過ぎるときに風下に発生する大気重力波によってできるものである。大気重力波は主として対流圏でつくられると考えられている。これらの波は大空高く伝搬し、高度とともに大気密度が減少するにつれその振幅が指数関数的に増大しついには不安定になって壊れてしまう。では、この種の波は大気全体の大規模な運動にとってどんな役割を担っているのだろうか？気流が山を越えるとき、山は抵抗を受け、その反作用として山を越える気流自身にも一種の抵抗が働くことは力学の教えるところである。気流は山だけでなく、例えば雲（上昇気流）の上を越える場合にも抵抗を受ける。気流が受けるこの減速作用は、山や雲に接した空気だけが感じるのではない。発生した大気重力波が上方へ伝搬することから、上空の高いところで吹く風もまたこの減速作用を受けることになる。

地球規模の大気の運動として高度60kmあたりを中心に夏は東風（西向きの風）、冬は西風（東向きの風）が吹いているのはよく知られている。しかし、ひとつの興味深い謎は、高度80km付近にいつも風速の非常に弱い層が存在していることであった。太陽による加熱だけで気圧が決まるとするとその高度で風速が弱まることはない。実はこの事実の説明に大気重力波が上方に伝搬し、ブレーキとして働いていると言う説が多くの気象学者により提唱されていた。中層大気中にはこうした大気重力波がいつも観測される。鉛直流と東西風、又は鉛直流と南北風の積の高さ勾配(微分値)から背景風の減速量が求められる。その結果、確かに東風が吹く夏には東向きの、西風の吹く冬には西向きの抵抗が発生し背景風を減速することが明かとなり10年来の謎が解明された。これらはMUレーダーが世界に先駆けて成功した高精度観測と言える。しかし、これらの波が一体どこで発生しているのか、その強さや地域による分布はどうなっているのか？大気レーダーが今懸命に調べている課題であり、今後の観測結果が待たれている所以でもある。

大気レーダーは水平流の他、鉛直流の観測も可能という他の手段にない優れた特徴を持つ。これを生かして様々な気象現象が解明されている。例えば、水平スケールが数1000kmの温帯低気圧に伴った冷たい空気の渦（寒冷渦）の構造とそれに伴った中小規模の擾乱、さらにこれよりややスケールの

小さい中間規模低気圧についても、梅雨前線上での活動、特に雲を作る対流の振る舞いが詳しく調べられている。MUレーダーが初めて明らかにした鉛直流変動は極めて複雑で、雲が小規模なものから大規模なものに変化（組織化）して行く過程が克明に捉えられた。

台風、特にその眼の構造は一般に観測が困難であることからMUレーダーによる観測が待たれていた。幸い、1994年の26号台風はその中心がMUレーダーのほぼ真上を通過したため眼内部の詳細な解析がなされた。その結果低気圧性の反時計回りの渦が眼の周りで大きな蛇行運動をすることが初めて突き止められたのである。

また、高度100kmより上方の電離した超高層大気の観測でもMUレーダーは目覚ましい活躍をしている。一般にオーロラが見られるのは高緯度であり、電離層異常が頻発するのは低緯度とされていた。中緯度の研究は既にやり尽くされもはや何も面白い現象は残っていない、とする研究者の長年の偏見があった。しかし実際には、大気中を下層から伝搬する大気の波と、上層の電離大気が相互に作用を及ぼし合うことで実に多様な現象が生起していたのである。特にMUレーダーが発見したプラズマの爆発的な大規模上昇流や、準周期的な不安定現象は、国際的に研究者の「中緯度回帰」を促した、と評価されている。なお超高層大気は地球温暖化にともない逆に寒冷化することが知られている。こうした気候学的研究も今後発展的になされるものと考えられる。

4. まとめ

レーダーリモートセンシングの進歩はまさに日進月歩と言ってよかろう。我々もミリ波帯レーダーはじめ先端的な多周波・多変量レーダーの開発と利用研究を進めている。大気レーダーは今後地球環境問題等に対する興味から一層広く展開が進められるだろう。特に、地球規模の大気循環の源である赤道域の大気レーダー観測は従来より世界中の研究者の関心の的であった。なかでもインドネシア近辺は世界で最高温の海洋に無数の島が浮かぶ海洋大陸となっている。そこでは激しい上昇気流によって大規模な積雲が発生し、大気が上層の成層圏に噴水のように噴き上げているとされている。一般に、互いに混じりにくい対流圏と成層圏の大気がインドネシアの上空で混じり合っているわけである。成層圏のオゾン層を破壊するフロンもここから入り込み、成層圏内に広がって南極まで運ばれ、オゾンホールを作っていることがわかっている。赤道域はことのほか大気波動の活動も盛んであり、これらの物質の輸送にも関与しているはずであるが、残念ながらこの地域での観測データは極めて少ない。



図3：平成13年3月赤道直下に完成した赤道大気レーダー（EAR）

去る平成13年3月、我々のグループは同国スマトラ島の赤道直下のブキティンギ市郊外に『赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)』(図3)を建設した。赤道域大気の解明を目指して最初に構想されて以来10余年を経て漸く実現したものである。このレーダーはMUレーダーほど強力ではないが、それでも赤道大気を地表近くから高度20kmまで一気に調べることができる。運用は同国航空宇宙庁(LAPAN)と共同で行われる。我が国の大学が外国で運用する初めての大型設備となり、先駆的な学術成果は勿論、新しい形態の国際共同研究としてその進展が期待されている。